

中国介入影像与治疗学

Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy

ISSN 1672-8475, CN 11-5213/R

## 《中国介入影像与治疗学》网络首发论文

题目： 影像学引导下不可逆电穿孔消融治疗肝脏恶性肿瘤专家共识（2022版）  
作者： 魏颖恬，肖越勇，王忠敏  
收稿日期： 2022-03-21  
网络首发日期： 2022-04-17  
引用格式： 魏颖恬，肖越勇，王忠敏. 影像学引导下不可逆电穿孔消融治疗肝脏恶性肿瘤专家共识（2022版）[J/OL]. 中国介入影像与治疗学.  
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5213.r.20220415.1125.002.html>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

## 标准与规范

### Experts consensus of image-guided irreversible electroporation for malignant hepatic tumor

(2022 Edition)

WEI Yingtian<sup>1</sup>, XIAO Yueyong<sup>1\*</sup>, WANG Zhongmin<sup>2\*</sup>, Interventional Minimally Invasive Therapy

Professional Committee of Chinese Medical Education Association

(1. Department of Radiology, the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China; 2. Department of Interventional Radiology, Ruijin Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200025, China)

**[Abstract]** Irreversible electroporation (IRE) is an ablation technique that particularly suitable for ablation of solid tumors located in some vital areas, being able to protect blood vessels and biliary tract from damage during ablation of malignant liver tumors. Recent years, Chinese experts have equipped with mature experiences in treatment of liver tumor with IRE. In order to maximize the therapeutic advantages of IRE, standardize clinical operations and avoid IRE-related complications to the greatest extent, the relevant experts were specially convened to discuss and formulate this consensus for clinical reference.

**[Keywords]** liver neoplasms; irreversible electroporation; ablation techniques; imaging guided; expert consensus

**[第一作者]** 魏颖恬（1989—），女，河北秦皇岛人，硕士，主治医师。研究方向：介入诊疗。E-mail: weiyingtian301@163.com

**[通信作者]** 肖越勇 中国人民解放军总医院第一医学中心放射诊断科，100853。E-mail: cjr.xiaoyueyong@vip.163.com

王忠敏，上海交通大学附属瑞金医院放射科，200025。E-mail: cjr.wangzhongmin@vip.163.com

**[收稿日期]** 2022-03-21

**[修回日期]** 2022-04-11

## 影像学引导下不可逆电穿孔消融治疗肝脏恶性肿瘤专家共识（2022 版）

魏颖恬<sup>1</sup>，肖越勇<sup>1\*</sup>，王忠敏<sup>2\*</sup>；中国医药教育协会介入微创治疗专业委员会

（1. 中国人民解放军总医院第一医学中心放射诊断科，北京 100853；2. 上海交通大学附属瑞金医院放射科，上海 200025）

**【摘要】** 不可逆电穿孔（IRE）为消融治疗肿瘤技术，尤其适用于特殊部位实体肿瘤，可不损伤血管及胆道结构等肿瘤周围结构，常用于消融治疗肝脏恶性肿瘤。近年来国内专家对于 IRE 治疗肝脏肿瘤已获得成熟经验。为更好发挥 IRE 优势和规范临床操作、最大限度避免相关并发症，特召集国内相关专家讨论制定此共识，供临床参考。

**【关键词】** 肝肿瘤；不可逆电穿孔；消融技术；影像学引导；专家共识

**【中图分类号】** R735.7；R815 **【文献标识码】** A

肝癌居癌症相关死亡原因的第四位，每年新增约 70 万患者，且 2030 年将有超过 100 万患者死于肝癌<sup>[1-2]</sup>。目前临床对原发性肝癌仍以外科手术治疗为主，对转移性肝癌或多发肝肿瘤则可选择介入治疗或联合放射治疗、化学治疗、靶向及免疫治疗等。随着微创治疗技术的不断成熟，介入方法已逐渐成为治疗肝癌的一线方案，尤其对于无法接受外科手术者，介入治疗已成为首选局部治疗方法，常用方法包括温度消融（微波消融、射频消融、冷冻消融）及 TACE 等；但温度消融用于肝脏特殊部位（如靠近第一、二肝门部及胆囊）肿瘤易损伤血管、胆管及胆囊且常因热沉效应致消融不彻底，用于肝脏边缘贴近结肠的肿瘤可能造成结肠穿孔等严重并发症，对于邻近膈肌、特别是突出于肝脏轮廓之外的肿瘤则易引起膈肌损伤及膈疝；而 TACE 适用于治疗供血动脉明确的肿瘤，对乏血供肿瘤则难以获得满意疗效。

不可逆电穿孔（irreversible electroporation, IRE）又称纳米刀，是一种新兴消融治疗肿瘤技术，利用高压电脉冲在细胞膜上打出纳米级不可逆孔隙，使细胞内外离子交换失衡，细胞内环境稳态受到破坏

而最终死亡<sup>[3]</sup>；其最大优势在于治疗过程中不产生明显温度变化，可实现“选择性”消融。高压电脉冲仅对细胞膜脂质双分子层产生作用而血管及胆管结构保留完整，对胃、肠道等脏器同样具有保护作用，且消融效果不受热沉效应影响，适用于消融治疗靠近肝门、胆囊、膈肌和结肠等肝脏特殊部位的肿瘤<sup>[4]</sup>，且已被证实安全、有效<sup>[5-11]</sup>。目前有关 IRE 选择适应证、操作标准以及合理应用参数等尚无统一标准。为更好地发挥 IRE 治疗优势、规范操作及最大限度避免并发症，特讨论制定此共识。

## 1 适应证与禁忌证

1.1 适应证 ①经影像学或病理确诊的肝脏恶性肿瘤，直径 $\leq 5$  cm 且病灶数 $\leq 3$ ，不伴远隔部位淋巴结及其他部位转移；②患者年龄 18~80 岁，性别不限，可耐受全身麻醉；③无法进行外科手术或患者拒绝外科治疗；④术前影像学检查显示肿瘤邻近但未侵犯至胆囊、肠管腔内；⑤预计生存期 $\geq 3$  个月，Karnofsky 功能状态评分（Karnofsky performance status scale, KPS） $> 50$ 。

1.2 禁忌证 ①肝脏多发病灶（ $> 3$  个）或伴远隔部位淋巴结转移，或单个病灶直径 $> 5$  cm；②严重心律失常、心脏起搏器置入病史，近期发生大面积心肌梗死；③心、肺功能无法耐受全身麻醉；④肾功能不全或因其他原因无法增强 CT/MR 扫描；⑤术前 1 周内血常规检查血红蛋白 $< 70$  g/L 或血小板计数 $< 80 \times 10^9$ /L，或近 1 周内口服抗凝药及凝血功能异常；⑥病变侵犯胆囊壁、肠管管壁全层；⑦妊娠、精神异常或其他原因不能自主配合者。

## 2 术前准备

2.1 影像学检查 ①术前 1 个月内行增强 MR/CT 检查，明确病变与周围毗邻结构的关系，必要时行 PET/CT 检查明确病变侵犯范围；病变与胆囊、肠管或周围血管结构侵犯关系不清时，应慎重选择经皮 IRE，避免消融术后由于肿瘤成分坏死引起管壁结构缺失；②术前行常规心电图、胸部 X 线及超声检查。

2.2 血液学检查 术前 1 周内行血常规、凝血功能、血生化、乙肝抗原抗体等血清学检查，以及肿瘤标记物等检查。

2.3 术前常规准备 ①对胆道梗阻者植入胆道支架或行经皮胆道穿刺引流，预计支架将处于距离消融区

域 1 cm 范围内时，建议选用非金属支架<sup>[12-13]</sup>；②术前 1 周内禁止使用抗凝药物（短效抗凝药物如低分子肝素、利伐沙班、达比加群酯等术前应停药至少 48 h）；③术前 1 天行麻醉访视评估；④术前 1 天口服导泻药物，保证术前肠道清洁；术前常规禁食、禁水至少 6 h；留置胃管及导尿管；⑤对患者进行心理疏导，告知患者及家属手术风险，签署知情同意书。

### 3 IRE 操作原则及步骤

3.1 IRE 麻醉方式及注意事项 应于全身麻醉下行 IRE 消融。于手术室外麻醉时，环境中应具备：①可靠的供氧设备；②吸引装置；③废气清除装置；④满足基本麻醉监测标准的监测仪及人工复苏球囊；⑤安全插座；⑥配有蓄电池且能清楚显示患者和麻醉设备的照明装置；⑦宽裕空间，可供麻醉师活动；⑧配备除颤仪、急救药及其他急救设备的急救车；⑨具备有效沟通及协同救助条件；⑩设备使用安全规范。

行常规诱导麻醉、气管插管后，持续行桡动脉动态血压监测，发现 IRE 致血压升高时，及时予以降压药物，对持续性血压升高可予艾司洛尔、尼卡地平等起效快且作用时间短的药物，遇血压变化难以纠正时，应停止释放电脉冲。术前应特别注意应用肌松药物，避免电脉冲刺激引起局部肌肉组织收缩或发生癫痫症状；多采用非去极化型神经肌肉阻滞剂，如罗库溴铵，常规以 0.6mg/kg 进行麻醉诱导，术中根据释放脉冲时局部肌肉收缩情况适当进行调整肌松药物或增减剂量，建议维持肌松监测仪所示 4 个成串刺激值（train-of-four, TOF）为 0。肌肉收缩过强会引起 IRE 电极针空间移位，消融邻近重要脏器及血管的病变时，针尖摆动可能造成脏器及血管机械性损伤。IRE 术中心律失常多为室性心动过速或动脉血压一过性升高，多可于停止释放电脉冲后自行缓解<sup>[14-16]</sup>。

3.2 影像学引导方式 CT 和超声均可引导经皮 IRE。MRI 亦可用于引导经皮 IRE，但因现阶段市场尚缺乏 IRE 磁兼容设备而应用较少。

3.2.1 CT 引导 优点：①扫描速度快；②分辨率高，显示腹腔脏器等结构清晰；③支持三维重建，以明确病灶与周围结构及消融针的关系；④可灵活调整进针方向。缺点：①术中多次扫描增加患者辐射剂量；②为清晰显示血管结构，需行增强扫描。

3.2.2 超声引导 优点：①使用方便、快捷；②无辐射；③术中显示肝脏血管及胆道较为清晰；④可实时监测进针角度及深度。缺点：①全麻下进针受患者体位及呼吸影响，对于膈顶部病灶需采用人工液胸技术；②同时使用 $\geq 4$ 支消融针时，布针及测量针距受到一定限制。

3.2.3 MRI 引导 优点：①病灶边界显示清晰；②无辐射；③可多角度、多层面成像；④可灵活调整进针方向；⑤多参数扫描即时评估消融效果；⑥MRI 透视可实时引导穿刺进针。缺点：①扫描速度慢；②目前缺乏 IRE 磁兼容设备。

3.3 术前计划与布针原则 术前应根据病变位置及大小、形态，适当选择 2~6 支电极针（表 1、图 1）。IRE 消融时为两两电极针间序贯脉冲放电，故应至少保证电极针之间的有效消融间距为 1.5~2.2 cm 且相互平行，尽量使消融范围覆盖全部病灶且超过病灶边缘约 0.5 cm。对形态不规则病灶应在尽量避开其他脏器及血管的前提下沿其长轴布针，一次消融结束后可退针继续消融，重叠消融区域不应过大，且同一区域消融次数尽量不超过 3 次，避免发生热损伤。病变靠近血管、胆囊或肠管等其他重要结构时，应尽量避免电极针针尖垂直接触上述结构，以防释放脉冲时引起机械性损伤。以电极针穿刺时，应避免紧贴血管壁，以免电极针表面温度过高引起热损伤<sup>[17]</sup>。于 CT 引导穿刺时，应采用“步进式”进针，避免穿过胸腔而引起肺部组织损伤；以超声引导时，应以术中超声造影（contrast-enhanced ultrasound, CEUS）确定病灶范围，在超声实时引导下经皮穿入电极针。

表 1 病灶大小与 IRE 术中建议电极针数

病灶大小（最大径 D）	建议电极针数
$D \leq 2$ cm	2~3 支
$2$ cm $< D \leq 3$ cm	3~4 支（如病灶周围结构复杂，穿刺风险较高时可考虑采用 2 支电极针）
$3$ cm $< D \leq 4$ cm	3~5 支
$4$ cm $< D \leq 5$ cm	4~6 支

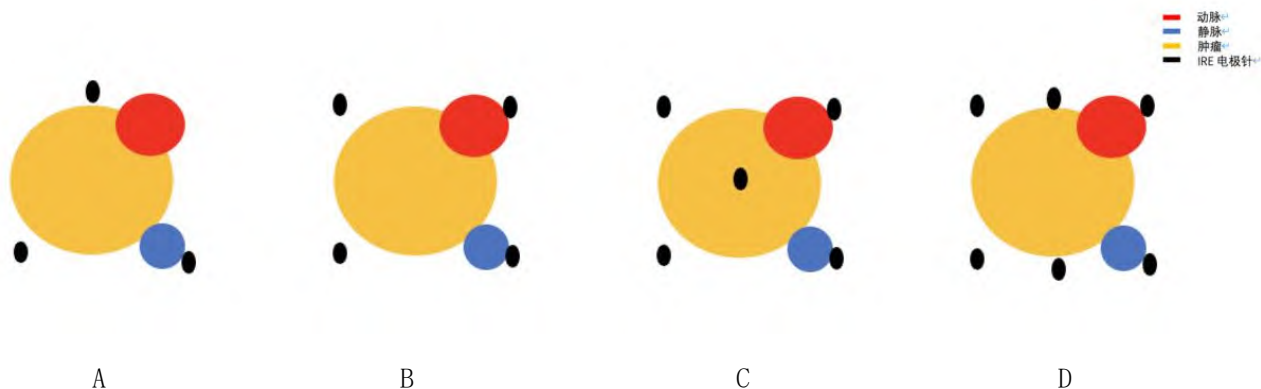


图 1 俯视图显示 IRE 术中以 3~6 支 (A~D) 电极针布针时, 电极针与肿瘤及血管的关系

3.4 操作步骤及选择消融参数 根据术前计划适当选择患者体位, 于体表贴定位栅 (CT 引导时), 按照术前计划将电极针穿刺至病灶边缘, 全部到位后测量针尖距离, 根据电极针有效消融间距选择消融参数, 并进行测试。肝脏含水量丰富、质地相对均匀, 针尖初始裸露端可设定为 2 cm; 肝门部脉管丰富、结构不均匀, 建议调节电极裸露段为 1.5 cm, 以免电场不均匀而影响消融效果。肝脏主要位于右侧肋缘下, 受限于肋骨, 穿刺布针时无法保证全部电极针平行, 但至少应使电极针两两平行, 以实现序贯消融。肝内门静脉存在癌栓时, 可将电极针置于门静脉两侧实施消融。消融参数中, 电场强多选择 1 500~2 800 V/cm, 可根据针尖距离进行调整; 脉冲数 70~100 个, 脉宽 70~90  $\mu$ s。测试 10~20 个脉冲后, 观察电流走势, 如电流在 25 A 以上并呈逐渐上升趋势且不超过 45 A, 提示参数选择较为合理, 可正式释放脉冲, 否则应予以调整后再次测试, 直至满意为止。采用 CT 引导时, 每消融 1 个循环后均需行 CT 扫描, 根据消融区域内病灶密度的变化确定消融区覆盖病灶程度, 如仅为部分覆盖, 应调整消融参数再次消融, 如覆盖理想, 则继续进行下一段消融; 发现消融区域密度减低并出现少量电离气体影后结束消融。采用超声引导时, 应根据病灶实时变化调整消融参数; 消融结束后超声声像图可见消融区域由低回声逐渐向高回声转变, CEUS 动脉期及门脉期消融区无明显强化, 消融区周围可见环状强化。术后即刻行增强 CT 扫描或 CEUS, 评价消融覆盖情况、有无血管及其他重要结构损伤。

## 4 术后护理

患者复苏后由麻醉医师护送返回病房，予以心电监护、常规抗生素及营养支持治疗，酌情使用镇痛药物；如术后 6 h 无腹腔内出血，建议予低分子肝素皮下注射，以预防消融区域血管内血栓形成。

## 5 并发症的预防及处理

5.1 心律失常 IRE 释放高压电脉冲致消融区域内细胞膜穿孔而形成大量离子通道，跨膜电势改变引起人体生物电紊乱而诱发心律失常；刺激神经肌肉组织则可引起重度肌肉收缩和癫痫。研究<sup>[18]</sup>表明，IRE 用于邻近心脏的病变时更易引发心律失常，故对距离心脏 $\leq 1.7$  cm 的病灶行 IRE 消融时应十分谨慎。IRE 设备配备同步心电监护装置，可识别心动周期的绝对不应期，以确保在不应期释放电脉冲。但对于有心律失常病史或病灶位于膈下患者，应注意 IRE 引起心律失常的风险可能增加并做好相应准备。

5.2 静脉血栓形成 对邻近门静脉或下腔静脉病变，应严格把控适应证；病变完全包绕血管可致管腔受压狭窄（ $>70\%$ ）、血流减慢，IRE 术后消融区局部水肿可进一步加重管腔狭窄。此外，IRE 消融虽不会对血管结构产生不可逆破坏，但可引起血管内皮可逆性损伤，使血液流速减慢而易形成血栓，引起腹腔积液。建议对 IRE 消融术后患者以常规剂量低分子肝素进行抗凝治疗，消融区域内含管径较细的血管时，尤应注意预防血栓形成<sup>[19-23]</sup>。

5.3 出血 主要原因：①电极针穿刺机械性损伤血管结构，术中或术后 CT 及超声均可显示，必要时可行介入栓塞；②术前肿瘤侵及血管壁全层，消融在导致肿瘤坏死的同时造成血管结构损伤而引起出血；③消融使部分受肿瘤侵犯的血管管壁的完整性遭到破坏而形成假性动脉瘤，常于术后 2~4 周出血，故应于术后 1 个月行影像学复查。

5.4 热损伤 IRE 虽为常温消融技术，但以过多脉冲消融时，邻近电极针组织可发生凝固性坏死，故布针时应尽量避免电极针过于靠近血管等重要结构<sup>[17]</sup>。合理选择消融参数、避免对同一区域进行多次消融，对于预防热损伤具有更重要意义。释放脉冲时，如消融区内存在金属植入物，易影响电流走向，导致电场不均匀、消融不彻底或周围重要组织损伤<sup>[12-13]</sup>。



5.5 感染 IRE 消融肝脏肿瘤时，电极针须穿过肝组织，可致胆道损伤，使胆汁漏入腹腔，增加术后腹腔感染风险。肿瘤侵犯肠管全层时，消融后脱落的肿瘤坏死组织可使部分肠管壁结构缺失、肠内容物漏入腹腔。对胆肠吻合术后患者行 IRE 消融，发生肝脓肿的风险增加<sup>[7-8]</sup>。术前进行充分、详细的影像学评估及合理规划穿刺路径有助于规避感染风险。

5.6 其他 肝脏肿瘤位置较高、邻近膈顶时，以电极针穿刺可能经过胸腔，造成气胸或肋间动脉损伤等。术中应由麻醉医师以呼吸机配合患者呼吸，减少进针时呼吸引起的膈肌运动。

## 6 术后评价及随访

IRE 消融后，应于术后 1 周内、1 个月、3 个月和 6 个月复查肿瘤标志物和影像学检查，病情稳定后每 6 个月随访 1 次。影像学检查以增强 CT 和 MR 为主，以便于对照；术后 6 个月建议行 PET/CT 检查。

评价消融疗效标准：完全消融（complete ablation, CA），随访影像学增强检查显示肿瘤完全坏死、无强化，肿瘤消融率（ablation rate, AR）100%；不完全消融（incomplete ablation, IA），AR 不足 100%，与术前相比病灶灭活情况分为 3 度，I 度  $75\% \leq AR < 100\%$ ，II 度  $50\% \leq AR < 75\%$ ，III 度  $AR < 50\%$ 。

## 7 个体化治疗方案选择及 IRE 应用前景

IRE 消融用于治疗肝脏肿瘤，对于直径  $\leq 2$  cm 病灶的消融效果明显优于  $> 2$  cm 且  $\leq 3$  cm 者，而对直径  $> 3$  cm 病灶的消融效果较差<sup>[11, 23-25]</sup>。对直径  $\leq 3$  cm 且靠近肝门部等重要结构的肝脏肿瘤，IRE 可作为治疗首选。对原发性肝癌可采用 IRE 或其他消融方式进行原位消融；对多发肝转移癌，推荐以 IRE 联合靶向、化学治疗或免疫治疗。IRE 可以作为治疗不能手术切除的肝门部胆管癌的方法。临床研究<sup>[26]</sup>显示，IRE 术后胆道梗阻患者症状减轻、生活质量明显改善，且远期生存率有望提高。目前免疫治疗联合 IRE 正成为新的研究方向，越来越多的实验研究证实，IRE 不仅仅引起肿瘤细胞凋亡，而更多地引起细胞坏死性凋亡或细胞焦亡<sup>[27]</sup>。IRE 消融或有利于程序性死亡（蛋白）-1（programmed death-1, PD-1）配体（PD-L1）及免疫细胞表达，对重塑肿瘤微环境也具有一定作用<sup>[28-31]</sup>。目前 IRE 联合免疫治疗仍处于探索阶段，临床可根据病情合理选择免疫治疗药物，但对于药物种类、给药时机、剂量及频次等尚无统一标准。合理把握适应

证，结合消融技术优势及病情进行个体化选择，有助于提升治疗的安全、有效及经济性<sup>[32]</sup>。

除联合治疗外，IRE 用于肝移植术前桥接治疗及移植术后肝肿瘤复发也取得了一定进展，未来或可成为治疗移植肝肿瘤的新的辅助手段<sup>[33-34]</sup>。随着 IRE 技术不断更新，高频 IRE 的问世，有望在未来数年内克服 IRE 术中需要全麻及肌松药的不足，实现单针消融更大区域，在更安全、更简便的消融环境中获得更多治疗收益。

[编委（按姓氏拼音顺序）：陈永亮（中国人民解放军总医院第一医学中心），丁晓毅（上海交通大学附属瑞金医院），郭彦伟（郑州大学附属第一医院），韩玥（中国医学科学院肿瘤医院），胡效坤（青岛大学附属医院），黄学全（陆军军医大学西南医院），蒋天安（浙江大学医学院附属第一医院），匡铭（中山大学附属第一医院），郎旭（天津医科大学总医院），李成利（山东省立医院），黎海亮（河南省肿瘤医院），李家平（中山大学附属第一医院），李茂全（上海市第十人民医院），马洁（北京医院），倪才方（苏州大学附属第一医院），牛洪欣（山东省肿瘤医院），牛立志（广州复大肿瘤医院），宋伟（山东省立医院），孙军辉（浙江大学医学院附属第一医院），唐喆（浙江大学医学院附属第二医院），田锦林（中国人民解放军第二五二医院），王理伟（上海交通大学附属仁济医院），王忠敏（上海交通大学附属瑞金医院），吴沛宏（中山大学肿瘤医院），肖越勇（中国人民解放军总医院第一医学中心），谢晓燕（中山大学附属第一医院），许林锋（中山大学附属第一医院），杨坡（哈尔滨医科大学附属第四医院），翟博（上海交通大学附属仁济医院），张立成（威海市立医院），张彦舫（深圳市人民医院），赵颖（中国人民解放军总医院第一医学中心），周志刚（郑州大学附属第一医院），朱晓黎（苏州大学附属第一医院）]

#### [参考文献]

[1] VILLANUEVA A. Hepatocellular carcinoma[J]. N Engl J Med, 2019, 380(15):1450-1462.

- [2] SAGNELLI E, MACERA M, RUSSO A, et al. Epidemiological and etiological variations in hepatocellular carcinoma[J]. *Infection*, 2020,48(1):7-17.
- [3] RUARUS A H, BARABASCH A, CATALANO O, et al. Irreversible electroporation for hepatic tumors: Protocol standardization using the modified Delphi technique[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2020,31(11):1765-1771. e15.
- [4] CANNON R, ELLIS S, HAYES D, et al. Safety and early efficacy of irreversible electroporation for hepatic tumors in proximity to vital structures[J]. *J Surg Oncol*, 2013,107(5):544-549.
- [5] DOLLINGER M, MÜLLER-WILLE R, ZEMAN F, et al. Irreversible electroporation of malignant hepatic tumors--alterations in venous structures at subacute follow-up and evolution at mid-term follow-up[J]. *PLoS One*, 2015,10(8):e0135773.
- [6] DOLLINGER M, ZEMAN F, NIESSEN C, et al. Bile duct injury after irreversible electroporation of hepatic malignancies: Evaluation of MR imaging findings and laboratory values[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2016,27(1):96-103.
- [7] NIESSEN C, BEYER L P, PREGLER B, et al. Percutaneous ablation of hepatic tumors using irreversible electroporation: A prospective safety and midterm efficacy study in 34 patients[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2016,27(4):480-486.
- [8] DOLLINGER M, BEYER L P, HAIMERL M, et al. Adverse effects of irreversible electroporation of malignant liver tumors under CT fluoroscopic guidance: A single-center experience[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2015,21(6):471-475.
- [9] THOMSON K R, CHEUNG W, ELLIS S J, et al. Investigation of the safety of irreversible electroporation in humans[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2011,22(5):611-621.
- [10] CHEUNG W, KAVNOUDIAS H, ROBERTS S, et al. Irreversible electroporation for unresectable

hepatocellular carcinoma: Initial experience and review of safety and outcomes[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2013, 12(3):233-241.

[11] FREEMAN E, CHEUNG W, KAVNOUDIAS H, et al. Irreversible electroporation for hepatocellular carcinoma: Longer-term outcomes at a single centre[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2021, 44(2):247-253.

[12] CHAN P, MCLEAN C, CHAN S, et al. The interaction between irreversible electroporation therapy (IRE) and embolization material using a validated vegetal model: An experimental study[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2019, 25(4):304-309.

[13] BEN-DAVID E, AHMED M, FAROJA M, et al. Irreversible electroporation: treatment effect is susceptible to local environment and tissue properties[J]. *Radiology*, 2013, 269(3):738-747.

[14] NIELSEN K, SCHEFFER H J, VIEVEEN J M, et al. Anaesthetic management during open and percutaneous irreversible electroporation[J]. *Br J Anaesth*, 2014, 113(6):985-992.

[15] AL-KHADRA A, NIKOLSKI V, EFIMOV I R. The role of electroporation in defibrillation[J]. *Circ Res*, 2000, 87(9):797-804.

[16] NIKOLSKI V P, EFIMOV I R. Electroporation of the heart[J]. *Europace*, 2005, 7(Suppl 2):146-154.

[17] Van der BOS W, SCHEFFER H J, VOGEL J A, et al. Thermal energy during irreversible electroporation and the influence of different ablation parameters[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2016, 27(3):433-443.

[18] DEODHAR A, DICKFELD T, SINGLE G W, et al. Irreversible electroporation near the heart: Ventricular arrhythmias can be prevented with ECG synchronization[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2011, 196(3):W330-W335.

[19] TAMURA M, PEDERSOLI F, SCHULZE-HAGEN M, et al. Predictors of occlusion of hepatic blood

vessels after irreversible electroporation of liver tumors[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2020, 31(12):2033-2042. e1.

[20] 魏颖恬, 肖越勇, 张肖, 等. CT 引导下经皮纳米刀消融治疗局部晚期胰腺癌相关并发症初步分析[J]. *中华放射学杂志*, 2018, 52(7):528-532.

[21] 魏颖恬, 肖越勇, 张肖, 等. CT 引导不可逆电穿孔消融术治疗局部晚期胰腺癌的有效性和安全性[J]. *中华放射学杂志*, 2016, 50(10):789-793.

[22] 中国医药教育协会介入微创治疗专业委员会. 影像学引导胰腺癌不可逆电穿孔消融治疗专家共识 2018 版[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(39):3148-3152.

[23] ZIMMERMAN A, GRAND D, CHARPENTIER K P. Irreversible electroporation of hepatocellular carcinoma: patient selection and perspectives[J]. *J Hepatocell Carcinoma*, 2017, 4:49-58.

[24] POMPILI M, FRANCICA G. Irreversible electroporation for hepatic tumors[J]. *J Ultrasound*, 2019, 22(1):1-3.

[25] 魏颖恬, 肖越勇, 张肖, 等. 胰腺癌纳米刀消融参数的设置原则与临床应用[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2017, 14(4):252-255.

[26] MARTIN E K, BHUTIANI N, EGGER M E, et al. Safety and efficacy of irreversible electroporation in the treatment of obstructive jaundice in advanced hilar cholangiocarcinoma[J]. *HPB (Oxford)*, 2018, 20(11):1092-1097.

[27] LOPEZ-ICHIKAWA M, VU N K, NIJAGAL A, et al. Neutrophils are important for the development of pro-reparative macrophages after irreversible electroporation of the liver in mice[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1):14986.

[28] GEBOERS B, TIMMER F E F, Van den TOL P M, et al. Irreversible electroporation: Local tumor ablation with systemic immune effect[J]. *Ned Tijdschr Geneesk*, 2021, 165:D5506.

- [29] HE C, SUN S, ZHANG Y, et al. Irreversible electroporation plus anti-PD-1 antibody versus irreversible electroporation alone for patients with locally advanced pancreatic cancer[J]. *J Inflamm Res*, 2021, 14:4795-4807.
- [30] ERESEN A, YANG J, SCOTTI A, et al. Combination of natural killer cell-based immunotherapy and irreversible electroporation for the treatment of hepatocellular carcinoma[J]. *Ann Transl Med*, 2021, 9(13):1089.
- [31] WHITE S B, ZHANG Z, CHEN J, et al. Early immunologic response of irreversible electroporation versus cryoablation in a rodent model of pancreatic cancer[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2018, 29(12):1764-1769.
- [32] 肖越勇, 张肖, 张金山. 积极稳妥地开展纳米刀肿瘤消融新技术[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2015, 12(5):257-258.
- [33] CANNON R M, BOLUS D N, WHITE J A. Irreversible electroporation as a bridge to liver transplantation[J]. *Am Surg*, 2019, 85(1):103-110.
- [34] AKHAN O, SARKAYA Y, KKSAL A, et al. Irreversible electroporation of recurrent hepatocellular carcinoma after liver transplantation: Report of two cases[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2021, 44(1):807-811.